

水田の水質浄化機能と地下水かん養機能

吉田富美雄¹・柳町信吾¹・堀 順一¹・渡辺哲子²

第5期諏訪湖水質保全計画の流出水対策の一環として水田における水質浄化機能と地下水かん養機能を調査した。調査は水管理された調整水田に用水をかけ流し灌漑して行った。その結果、地表排出水は用水流入水と比べて全窒素と全りん濃度が減少し、硝酸性窒素は定量下限値未満に減少していた。窒素とりんの水質浄化効果と地下水かん養効果があることが確認された。

キーワード：水田浄化機能，地下水かん養機能，流出水対策

1. はじめに

長野県では諏訪湖の一層の浄化のため、湖沼水質保全特別措置法¹⁾に基づき、平成19年度に第5期諏訪湖水質保全計画²⁾を策定し、湖沼の水質保全に係る事業や各種汚濁源に対する水質保全対策を総合的かつ計画的に推進している。この計画では、下水道整備、工場・事業場の排水対策等の従来の施策を継続して実施することに加え、新たに「流出水対策地区」²⁾を指定し、市街地や農地等から流出する汚濁負荷対策にも取り組むこととした。本研究は流出水対策地区に指定された上川・宮川流域において流出水対策の調査研究の一環として、水田の水質浄化機能と地下水かん養機能を調査した。(環境省委託業務)³⁾

2. 調査方法

2.1 調査水田及び調査期間

調査は茅野市豊平地籍の水田で行った。調査対象とした水田は、圃場整備された水田地帯の一面にあり、水田の両側に用水路と排水路が整備されている。調査水田は水田地帯の上部に位置し、水田面積は1980㎡(約2反)である。圃場整備完成後、稲作等の作付けはまだ行われていない。調査を開始するにあたり、水田の整地作業を行い耕起後、代かきを行った。調査水田に、図1に示すように調査機器を設置し、平成20年6月9日から9月9日まで調査を実施した。

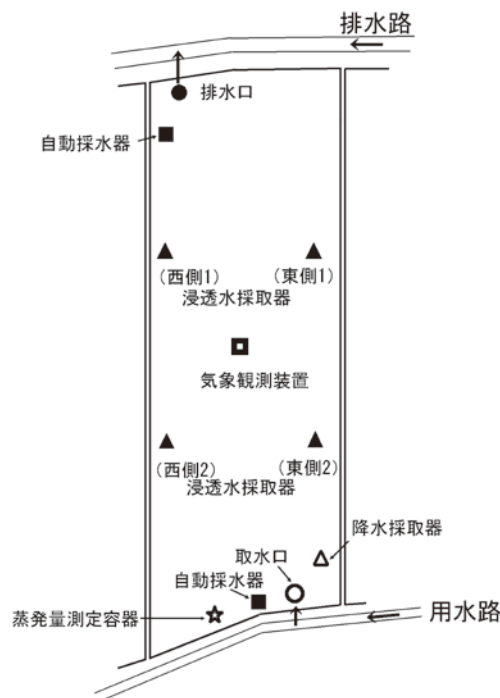


図1 水田の調査概要

2.2 調査対象，調査項目及び測定方法

調査対象と項目を表1に示す。本文中では用水路からの流入水を用水流入水⁴⁾、水田から排水口を通じて排水路へ流出する排出水を地表排出水という。また、水田から地下浸透により排出される排出水を浸透排出水という。

用水流入水と地表排出水は自動採水器により採水し、試料を回収して分析を行った。用水流入量は、取水口に直角三角せきを、地表排出水は排水口に全幅せきを設置し水位計により水位を測定し、JIS B

1 長野県環境保全研究所 水・土壌環境部 〒380-0944 長野市安茂里米村1978

2 上小地方事務所 〒386-8555 上田市材木町1-2-6

8302 の計算式から流量を求めた。

浸透排出水は土壤溶液採取装置（ポーラスカップ）を図1に示すように水田の西側と東側にそれぞれ2箇所ずつ設置し、採取した。西側、東側それぞれ2箇所ですべて採取された浸透液を混合し、東側、西側それぞれの試料とした。なお、水田の耕作土壌の下にはレキ層が埋設されていたため挿入深度は約40cmであった。降水量等の気象データは水田中央部に設置した気象観測装置（Davis社製 Weather Station Vantage Pro2）により測定した。降水試料は水田脇に設置した降水採取容器（地上高50cm）により採取した。蒸発量は水田内に蒸発量測定用の容器を設け水位計で水位を測定し、前日との水位差から蒸発量を測定した。

水質の分析方法は、CODは過マンガン酸カリウム法、全窒素はペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外吸光度法、全りんはペルオキシ二硫酸カリウム分解-モリブデン青（アスコルビン酸還元）吸光度法、硝酸性窒素はイオンクロマトグラフ法等で行った。溶存態成分は試料をろ紙（Whatman GF/F）でろ過した試料を用いた。

表1 調査対象及び項目等

調査対象	調査回数等	調査項目
用水流入水 地表排水	6月から7月末までは毎日、 8月から9月上旬までは隔日。 ただし、減水深調査時、 用水からの取水停止時、 農薬散布時等を除く。	T-N, DTN, NO ₃ -N, NH ₄ -N, NO ₂ -N, T-P, DTP, PO ₄ -P, T-COD, D-COD, SS, 電気伝導率, pH
浸透排水	週1回程度	
降水量	降水量は転倒ます式降雨計により30分おきに観測。	
蒸発量	水位計により調査。	
減水深	1回/月、連続した2~3日。	

3. 結果と考察

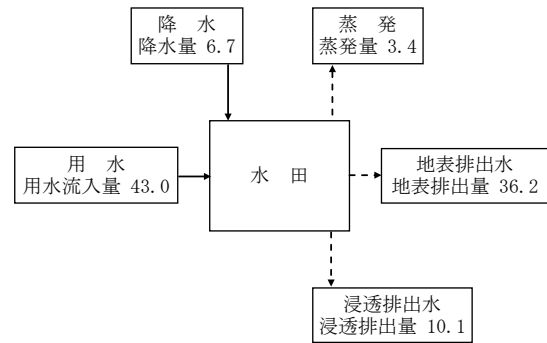
3.1 水収支

減水深調査や用水路からの取水停止等を除き、約2ヶ月間調査を行った。この間の流入水量、排出水量等から、水収支（10aあたりの水田面積に換算した日平均値）を求めた（図2）。調査日ごとに、用水流入量と降水量の合計から地表排出量を差引きして求めた減水深は平均14mm/日であった。さらに、減水深から蒸発量を差引きして求めた浸透排出量は平均10mm/日であった。

3.2 水質調査結果

流入水、排出水等の調査期間中の水質濃度の平均値を表2に示す。用水流入水と地表排水の水質

濃度の経時変化を図3に、用水流入水等の窒素の形態別濃度の経時変化を図4に示す。浸透排水と降水の水質濃度結果をそれぞれ図5、6に示す。なお、浸透排水はほぼ1週間おきに調査を行い、浸透排水濃度は東側と西側の浸透排水の平均値とした。



単位：m³/日/10a
注：調査水田における61日間の日平均値を10aの水田面積に換算。

図2 水収支

表2 流入水・排水等の水質濃度

	(単位：mg/L)		
	T-N	T-P	T-COD
用水流入水	0.44	0.054	4.0
降水	0.76	0.018	2.5
地表排水	0.32	0.033	5.2
浸透排水	0.71	0.006	8.1

3.2.1 用水流入水

調査水田は水田地帯の上流部に位置しているため、他の水田等からの排水等の影響も少なく、T-CODが7月中旬に高い濃度がみられたほかには、その他の項目で特に高い濃度は見られず、比較的低濃度で推移していた。窒素の主要な成分は硝酸性窒素であった（図4）。調査期間中の採水日には雨天の日もあったが、降雨の影響と思われる著しく高い濃度はみられなかった。

3.2.2 地表排水

地表排水と用水流入水を調査期間中の水質濃度の平均値（表2）で比較すると、地表排水の方が全窒素と全りんは減少し、T-CODは増加していた。経時変化（図3）でみると、全窒素は調査開始時から7月中旬ころまでと8月下旬以降は、地表排水が用水流入水より低い濃度であった。用水流入水の主要な成分である硝酸性窒素は地表排水では概ね定量下限値未満に減少していた（図4）。全りんは調査期間中、地表排水の濃度が用水流入水より

概ね低い傾向であった(図3)。T-CODの地表排水と用水流出水の濃度を比べると、7月中旬以降は地表排水の方が高い傾向であった。

3.2.3 浸透排水

いずれの水質項目も調査期間を通じて大きな経時変動はみられなかった(図5)。全窒素、T-CODは用水流入水と地表排水に比べて高い傾向であった。窒素は、特にアンモニア性窒素が高く、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素は検出されなかった(図4)。

これは、たん水状態の水田の土壤中では還元状態となっていることによる影響と思われる。りんは用水流入水や地表排水と比べて低濃度であった(図3, 5)。りんは土壤に吸着されやすいことから、浸透排水では低濃度になったと思われる。今回、試料採取のために使用したポーラスカップは、水田の耕作土壌の下にレキ等があったため、通常深さ1m程度に設置するところ、深さ40cm程度しか挿入できなかった。このことも、COD等が若干高めの濃度になった一因と推察される。

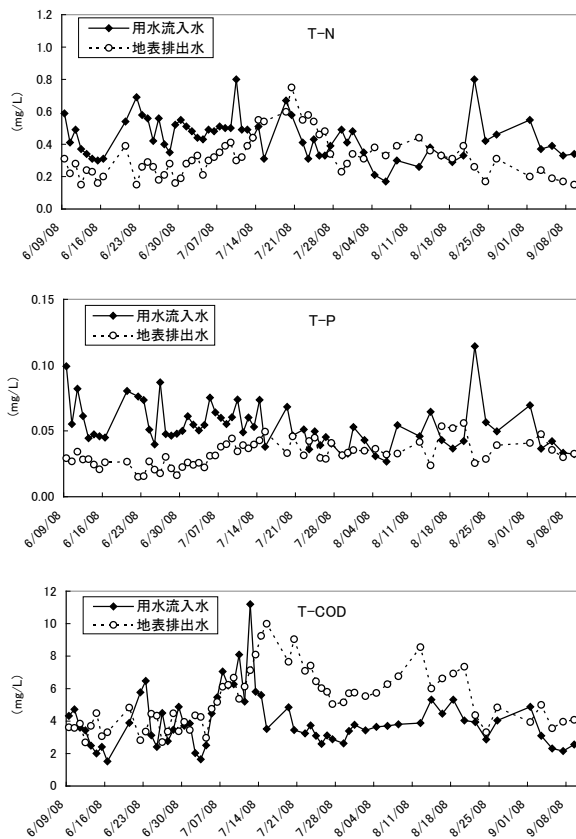


図3 用水流入水と地表排水水の水質濃度

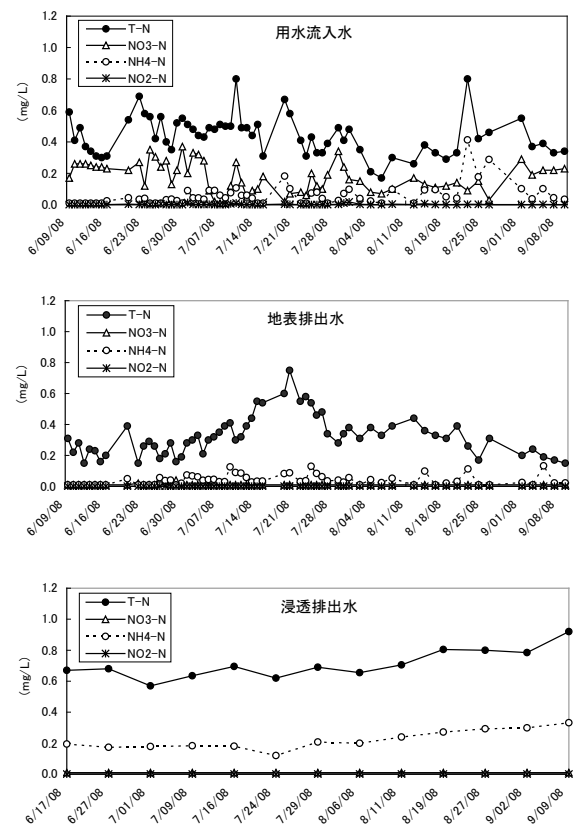


図4 窒素の形態別濃度

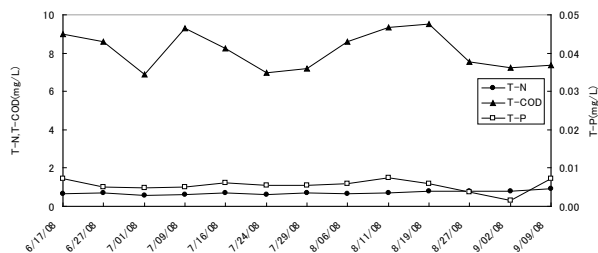


図5 浸透排水水の水質濃度

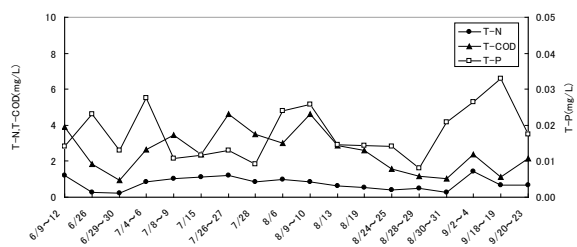


図6 降水の水質濃度

3.2.4 降水

T-COD と全りんは経時変化が大きかった (図 6)。調査水田の周辺には畑地帯もあり、風雨による周辺からの影響によると思われる。

3.3 水質浄化効果

3.3.1 負荷量の算出

負荷量は水量に濃度を乗じて求めた。なお、水稻等の作付けは行っていないため、作物等による吸収と施肥による負荷は考慮していない。ここでは、流入負荷量は、用水からの負荷量と降水からの負荷量の合計とし (式 3)、排出負荷量は水田から排水路へ流出する地表排出負荷量と浸透排水により排出される浸透排出負荷量の合計とした (式 4)。

$$\text{流入負荷量} = \text{用水負荷量} + \text{降水負荷量} \quad (3)$$

$$\text{排出負荷量} = \text{地表排出負荷量} + \text{浸透排出負荷量} \quad (4)$$

また、排出負荷量から流入負荷量を引いたものを、差引き排出負荷量⁴⁾とした (式 5)。差引き排出負荷量がマイナスの場合は吸収型、プラスの場合は排出型という⁴⁾。

$$\text{差引き排出負荷量} = \text{排出負荷量} - \text{流入負荷量} \quad (5)$$

降水負荷量の算出には、調査期間中の全降水の平均濃度を使用した。さらに、定量下限値未満の値は下限値の 1/2 の値を使用した。

水稻を作付けした水田では、作物の吸収による負荷の減少と施肥による増加が生じる。そのほかに、水田を通過中に、窒素は細菌等による大気中への脱窒や土壌への吸着により減少する。調査を行った水田では、水稻等の作付けは行っていないために、作物による吸収や施肥等による負荷はないものとして計算した。

3.3.2 水質浄化効果

調査期間中 (61 日間) の流入水、排水等の平均負荷量 (10a あたりの水田面積に換算) を表 3 に示す。

今回の調査結果から求めた差引き排出負荷量は、表 3 より全窒素と全りんがマイナスで吸収型、T-COD はプラスで排出型となった。

全窒素と全りんの旬別の負荷量と差引き排出負荷量をそれぞれ図 7、8 に示す。旬毎の負荷量等は各旬間中の平均値を求め、旬間の日数を乗じて算出した。

旬別の負荷量をみると全窒素は 6 月下旬から 7 月上旬にかけて降水量が多かったため、他の期間より降水負荷量が多かった。用水流入量は日間変動があるために、全窒素等のいずれの地表排出負荷量も変動がみられるが、浸透排出負荷量は浸透排出量がほぼ一定のため、大きな変化は見られなかった。

旬別の差引き排出負荷量は、全窒素は 8 月上旬から中旬にかけて若干、排出傾向がみられたが (図 8)、その他の期間は概ね吸収型であった。また、降雨時に全窒素の差引き負荷量がマイナス側に大きい傾向がみられ、降雨による高負荷を水田は緩和する働きがあると思われる。全りんについては全期間を通じて、差引き排出負荷量がマイナスで吸収型であった。T-COD は全調査期間を通じて差引き排出負荷量がプラス傾向で排出型であった。旬別にみると 7 月下旬から 8 月上旬にかけて、特に増加がみられた。これは地表排水の T-COD の水質濃度の傾向と似ており、水田内の水温上昇に伴い藻の発生がみられたように、田面水での内部生産による影響が考えられる。T-COD の用水流入水と地表排水の平均負荷量がほぼ同程度である上に、さらに浸透排水濃度が高いことによって浸透排出負荷量が大きくなったことも排出型となった一因と考えられる (表 3)。

今回調査を行った水田は、長期間耕作を行っていない。そのため、ひび割れやモグラ穴等による

表 3 流入、排出負荷量

(単位 : g/日/10a)

項目	流入			排出			差引き排出負荷量
	用水負荷量	降水負荷量	総流入負荷量	地表排出負荷量	浸透排出負荷量	総排出負荷量	
全窒素	18.3	5.1	23.4	10.8	7.0	17.8	-5.6
全りん	2.18	0.12	2.30	1.17	0.06	1.23	-1.08
T-COD	162	17	179	181	84	265	86

注 : 調査水田における 61 日間の平均負荷量を 10a の水田面積に換算。

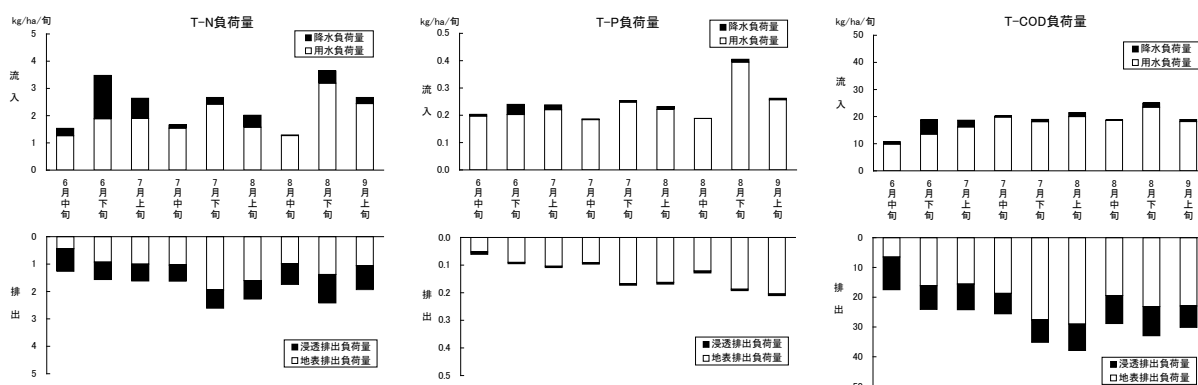


図7 旬別負荷量

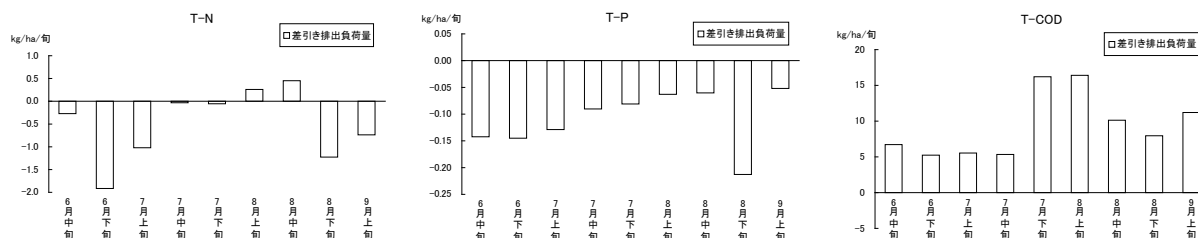


図8 旬別差引き排出負荷量

漏水やあぜの崩壊等を防止するため、調査開始前に稲作を行う水田と同様に代かきを行い、さらに水管理を行った。そして調査期間を通じて維持管理された水田に、かけ流し灌漑を行い調査を実施したものである。このような調査の結果として窒素やりん浄化効果があることが確認された。

3.4 地下水かん養機能

調査対象とした水田は全く放置された水田でなく、調整水田とよばれる状態の維持管理された水田である。そのため調査期間中、漏水等もなかったため、浸透水の浸透量は平均 10mm/日程度であった。これは概ね通常の水田程度であったと思われる。このため、放置された耕作放棄地と比べると浸透量はかなり少ないと思われるが、一定の浸透量が得られ、かん養効果を有することが確認された。

4. まとめ

水田は農産物の供給の他に水質浄化機能、地下水かん養機能、洪水防止機能、親水・景観保全機能等の多面的機能を有している。本調査は、流出水対策の調査研究の一環として、代かき等を行い水管理がされた調整水田に用水をかけ流し灌漑して、水田に

よる水質浄化機能と地下水かん養機能の調査を行ったものである。このような調査を行うには、水田の維持管理や用水量の確保、水田の位置関係等についての検討が必要である。特に、耕作放棄地といわれる水田は維持管理がされていないことが多いのが現状である。そのため、上川・宮川流域の耕作放棄地等に直ちにこのような活用方法を実際に適用し、大規模に展開していくことは現実的ではないが、今回の調査からは、次のような結果が得られた。

- (1) 地表排水と用水流入水の全窒素と全りん濃度を調査期間中の平均濃度と比較すると、地表排水の濃度は用水流入水と比べて減少していた。地表排水の硝酸性窒素は概ね定量下限値未満に減少していた。
- (2) 浸透排水の全窒素、T-CODは用水流入水や地表排水と比べて高い濃度であった。窒素では、特にアンモニア性窒素が高く、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素は検出されなかった。これは、たん水状態の水田の土壌中では還元状態となっていることが原因と思われる。全りんについては、浸透排水の濃度は用水流入水や地表排水と比べて低濃度であった。これは、りんが土壌に吸着されやすい性質によるものと思われる。
- (3) 今回の調査では、全窒素と全りんは吸収型で、

T-CODは排出型であった。T-CODは7月下旬から8月中旬に藻類などの内部生産によりプラスの増加傾向(排出型)がみられたが、調査を行った水田は面積が大きく、水田内の水温や滞留時間等を考慮した水管理方法は、今後の研究課題である。

(4) 調査対象とした水田は水田地帯の上流部に位置していたため、用水路の流入水は周囲の農用地等からの影響も少なく、比較的水質濃度が低かった。下流側に位置する水田を利用し、畑地の間を流下した用水や、降雨時等の汚濁の高い流域からの流出水を水田に灌漑することにより、一層の水質浄化効果が期待できるものと思われる。

以上のように、調整水田に用水をかけ流し灌漑管理した今回の調査では、窒素とりんの水質浄化効果と地下水かん養効果があることが確認された。

水質浄化効果については、地域に点在する調整水田(通常止水管理)に一定の水量をかけ流し灌漑管理ができると仮定した場合には、山林等を含む流域からの流出水における一定の窒素とりんの水質浄化効果が期待され、下流への水質浄化に寄与できるものである。また、この調査結果は水稻を作付けした水田における水質浄化機能や、今後の流出水対策を検討していく際の参考資料になるものと考えられる。

地下水かん養効果については、今回は維持管理された水田で調査を行ったため、浸透水量は放置された状態の耕作放棄地と比べて少ないと思われたが、一定の浸透量が得られ、かん養効果を有することが確認された。水田でかん養された用水や雨水は、徐々に地下に浸透し、下流で河川に流出し、川の流れを安定させている。また、降雨時の雨水を貯留し、河川への急激な流出を防ぐことによる調整池としての機能も果たしている。実際に水稻が作付けされた水田でも、たん水時には一定量の減水深があり、地下水かん養効果をもたらしている。この調査結果は浄化機能と同様、作付けした水田の地下水かん養機能

を解析する上でも、今後の参考資料になると考えられる。

謝 辞

本報告に係る調査は平成20年度環境省委託業務「流出水対策推進モデル計画策定調査」³⁾として行ったものであり、環境省水・大気環境局水環境課に深く感謝を表します。また、水田の調査及び報告書の取りまとめにあたり有益なご助言をいただいた長野県農業技術課、諏訪地方事務所農政課、諏訪農業改良普及センター、調査水田の所有者等の関係機関、各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 湖沼水質保全特別措置法：昭和59年7月27日法律第61号，最終改正：平成17年6月22日法律第69号
- 2) 長野県，第5期諏訪湖水質保全計画
- 3) 長野県，平成20年度環境省委託業務結果報告書「流出水対策推進モデル計画策定調査」，平成21年3月
- 4) 田淵俊雄・高村義親(1985)集水域からの窒素・リンの流出，東京大学出版会：11-15，75-129
- 5) 独立行政法人 農業環境技術研究所，水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版，平成18年3月
- 6) 國松孝男・村岡浩爾(1989)河川汚濁のモデル解析，技報堂出版：50-68
- 7) 楠田哲也(1994)自然の浄化機構の強化と制御，技報堂出版：53-69
- 8) 宗宮功(1990)自然の浄化機構，技報堂出版：63-84

Effect of water quality purification and effect of groundwater cultivation in paddy field

Fumio YOSHIDA¹, Shingo YANAGIMACHI¹, Jyunichi HORI¹ and Tetsuko WATANABE²

¹ Nagano Environmental Conservation Research Institute, Water and Soil Environment Division, 1978 Komemura Amori, Nagano 380-0944, Japan

² Nagano Prefecture Josho Regional Office, 1-2-6 Zaimokucho, Ueda 386-8555, Japan

Abstract

Effect of water quality purification and effect of groundwater cultivation in paddy field were investigated as part of the pollution load measures from non-point sources in the fifth phase water quality conservation plan for Lake Suwa. The investigation was performed in paddy field where the water management was done. The concentration of total nitrogen and total phosphorus in effluent were lower than in influent. Nitrate nitrogen concentration was less than method quantification limit.

Key words : Effect of water quality purification, Effect of groundwater cultivation